

VIA HAND DELIVERY

PATENT
36856.573

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

<p>In re application of: Hirofumi FUNAKI Serial No.: Currently unknown Filing Date: Concurrently herewith For: PIEZOELECTRIC RESONATOR</p>	<p><i>[Handwritten Signature]</i></p> <p>JC927 U.S. PRO 09/994653 11/28/01</p>
---	--

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENTS

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
Washington, D.C. 20231

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of Japanese Patent Application No. **2000-394249** filed **December 26, 2000**, from which priority is claimed under 35 U.S.C. 119 and Rule 55b. Acknowledgement of the priority document is respectfully requested to ensure that the subject information appears on the printed patent.

Respectfully submitted,

Date: November 28, 2001

[Handwritten Signature]

Attorneys for Applicant(s)

Joseph R. Keating
Registration No. 37,368

Christopher A. Bennett
Registration No. 46,710

KEATING & BENNETT LLP
10400 Eaton Place, Suite 312
Fairfax, VA 22030
Telephone: (703) 385-5200
Facsimile: (703) 385-5080

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC927 U.S. PRO
09/994653
11/28/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2000年12月26日

出 願 番 号
Application Number:

特願2000-394249

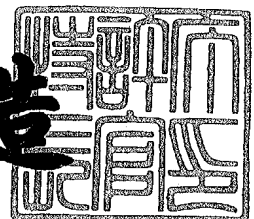
出 願 人
Applicant(s):

株式会社村田製作所

2001年 8月31日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3079955

【書類名】 特許願

【整理番号】 10433

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03H 9/58

【発明者】

 【住所又は居所】 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社村田
 製作所内

 【氏名】 舟木 裕史

【特許出願人】

 【識別番号】 000006231

 【氏名又は名称】 株式会社村田製作所

 【代表者】 村田 泰隆

【代理人】

 【識別番号】 100085497

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 筒井 秀隆

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 036618

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9004890

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 圧電共振子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 面積屈曲振動を利用した圧電共振子であって、

4 層以上の偶数層の電極層と 3 層以上の奇数層の圧電体層とを交互に積層し、圧電体層のうち少なくとも 2 層を厚み方向に分極させた構造を持ち、
少なくとも 1 層の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と同方向に電界が発生し、他の少なくとも 1 層の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と逆方向に電界が発生するように、上記電極層を相互に接続してなり、
少なくとも 1 層の圧電体層の厚みが他の圧電体層の厚みと異なることを特徴とする圧電共振子。

【請求項 2】 上記圧電体層のうち、中央の圧電体層の厚みを t_2 、両側の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 としたとき、 $t_1 = t_3 \neq t_2$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の圧電共振子。

【請求項 3】 上記圧電体層のうち、中央の圧電体層の厚みを t_2 、両側の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 としたとき、 $1 < t_1 / t_2 < 3$ かつ $1 < t_3 / t_2 < 3$ であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の圧電共振子。

【請求項 4】 上記圧電体層のうち、中央の圧電体層に厚み方向の圧電特性を持たせたことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の圧電共振子。

【請求項 5】 上記圧電体層のうち、中央の圧電体層に圧電特性を持たせないことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載の圧電共振子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は面積屈曲振動を利用した圧電共振子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

k H z 帯、特に 1 0 0 k H z ～ 1 M H z の圧電共振子としては、拡がり振動を利用したものが一般的である。拡がり振動を利用した圧電共振子では、その一辺の

長さ L_s と共振周波数 f_r との積は概ね一定であり、

$$L_s \times f_r = A_s$$

となる。ここで、 A_s は定数（周波数定数）であって、 $A_s \doteq 2100 \text{ mm kHz}$ である。例えば、AM用フィルタのように共振周波数が $f_r = 455 \text{ kHz}$ の共振子を得ようとすれば、その1辺の長さは、 $L_s = 4.62 \text{ mm}$ となる。

【0003】

近年、電子機器の小型化がますます進んでおり、電子部品にも小型、薄型化が求められている。このような状況の中で、上記のような1辺の長さが5mm近い寸法の電子部品は採用しがたい。

また、ラダー型フィルタの場合、その減衰量特性は、並列共振子と直列共振子との容量比によって決定される。つまり、大きな減衰量を得たければ、並列共振子の端子間容量を大きくし、直列共振子の端子間容量を小さくすればよい。ところが、並列共振子の端子間容量を大きくするには、その圧電基板の厚みを薄くせざるを得ず、機械的強度が低下するため、その選択範囲には限界があった。

【0004】

このような現状に鑑み、本願出願人は、4層以上の電極層と3層以上の圧電体層とを交互に積層し、圧電体層のうち少なくとも2層を厚み方向に分極させた構造を持ち、一部の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と同方向に電界が発生し、他の一部の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と逆方向に電界が発生するように、上記電極層を相互に接続した圧電共振子を提案した（特願平11-294491号）。

【0005】

この圧電共振子では、分極方向と電界方向とが同方向の圧電体層は平面方向に収縮し、分極方向と電界方向とが逆方向の圧電体層は広がるので、圧電共振子全体として面積屈曲振動を起こす。このような面積屈曲振動の圧電共振子では、拡がり振動を利用した圧電共振子に比べて、同じ共振周波数であれば、寸法を小さくすることができる。しかも、4層以上の電極層を有するので、各電極層間に端子間容量を形成することができ、端子間容量を大きくすることができる。しかも、各圧電体層は積層されているので、各圧電体層の厚みが薄くても、機械的強度を

確保することが可能であるという効果がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記構造の圧電共振子では、各圧電体層が同一厚みに形成されているので、素子全体の厚みを一定とした場合に、 n 層の圧電体層を積層したときの1層当たりの厚みは $1/n$ 倍となる。このときの端子間容量値は n の二乗倍になり、容量の変化率が大きく、容量値設計の自由度が小さい。

また、所定の容量値に合わせるには、素子全体の厚みの変更、層数の変更、材料特性の変更などが必要になり、加工工程の複雑化、コスト上昇が避けられない。

【0007】

そこで、本発明の目的は、圧電体層の積層数や素子全体の厚みを変えずに、容量値を細かく制御できる小型の圧電共振子を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、面積屈曲振動を利用した圧電共振子であって、4層以上の偶数層の電極層と3層以上の奇数層の圧電体層とを交互に積層し、圧電体層のうち少なくとも2層を厚み方向に分極させた構造を持ち、少なくとも1層の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と同方向に電界が発生し、他の少なくとも1層の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と逆方向に電界が発生するように、上記電極層を相互に接続してなり、少なくとも1層の圧電体層の厚みが他の圧電体層の厚みと異なることを特徴とする圧電共振子を提供する。

【0009】

本発明の場合、分極方向と電界方向とが同方向の圧電体層は平面方向に収縮し、分極方向と電界方向とが逆方向の圧電体層は広がるので、圧電共振子全体として面積屈曲振動を起こす。このような面積屈曲振動の圧電共振子では、拡がり振動を利用した圧電共振子に比べて、同じ共振周波数であれば、寸法を小さくすることができる。例えば、共振周波数が $f_r = 455 \text{ kHz}$ の共振子を得る場合、拡がり振動を利用した共振子では1辺の長さが約 4.62 mm であるのに対し、面

積屈曲振動を利用した共振子では1辺の長さを約1.4mmとすることができる。

3層以上の圧電体層の中で、少なくとも1層が他の層と厚みが異なる。例えば、3層構造の圧電共振子の場合、1辺の長さを Lb 、圧電体層の比誘電率を ε 、中央の圧電体層の厚みを t_2 、両側の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 とすると、その端子間容量 Cb は次式で与えられる。

$$Cb = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Lb^2) (1/t_1 + 1/t_2 + 1/t_3)$$

ここで、 ε_0 は真空中の誘電率である。なお、 $t_1 + t_2 + t_3 = T_0$ とする。

$t_1 = t_3 = t_2$ の場合には、

$$Cb = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Lb^2) (9/T_0) \text{ となる。}$$

もし、 $t_1 = t_3 = t_2/2$ とすると、

$$Cb = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Lb^2) (10/T_0) \text{ となる。}$$

また、 $t_1 = t_3 = 2 \cdot t_2$ とすると、

$$Cb = (\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot Lb^2) (10/T_0) \text{ となる。}$$

このように、少なくとも1層の圧電体層の厚みを他の層と異ならせることで、層数を増減せずに、容量値を自在に可変することができる。

【0010】

請求項2のように、圧電体層のうち、中央の圧電体層の厚みを t_2 、両側の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 としたとき、 $t_1 = t_3 \neq t_2$ とすれば、両側の圧電体層の厚みが等しいので、面積屈曲振動が表裏方向で対称となり、良好な共振特性を得ることができる。

【0011】

請求項3のように、圧電体層のうち、中央の圧電体層の厚みを t_2 、両側の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 としたとき、 $1 < t_1/t_2 < 3$ かつ $1 < t_3/t_2 < 3$ とするのが望ましい。

すなわち、中央の圧電体層に比べて両側の圧電体層を厚くすることで、 $\Delta f (= f_a - f_r)$ の大きな圧電共振子が得られ、帯域幅の大きな圧電共振子が得られる。

【0012】

請求項4のように、圧電体層のうち、中央の圧電体層に厚み方向の圧電特性を持たせてもよいし、請求項5のように、中央の圧電体層に圧電特性を持たせないでもよい。

中央の圧電体層の厚みを t_2 、両側の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 （但し、 $t_1 = t_3$ ）としたとき、 $t_1 / t_2 < 3$ の範囲では、中央の圧電体層に厚み方向の圧電特性を持たせた方が大きな Δf が得られ、 $t_1 / t_2 > 3$ の範囲では、中央の圧電体層に圧電特性を持たせない方が大きな Δf が得られる。

なお、中央層に圧電特性を持たせない方が、圧電特性を持たせた場合に比べて素子寸法を小型化することができる。

【0013】

【発明の実施の形態】

図1、図2は本発明にかかる面積屈曲振動を利用した圧電共振子の第1実施例を示す。

この圧電共振子Aは、100kHz～1MHzの周波数帯において使用されるセラミック共振子である。この圧電共振子Aは、略正形状をした3層の圧電体層1～3を、その間に内部電極4、5を介して挟んで積層し、積層された圧電体層1、3の外側主面にそれぞれ表面電極6および裏面電極7を形成したものである。

中央の圧電体層2の厚みを t_2 、両側の圧電体層1、3の厚み t_1 、 t_3 としたとき、 $t_1 = t_3 \neq t_2$ に設定されている。

【0014】

3層の圧電体層1～3のうち、図2に実線矢印で示すように、外側の圧電体層1、3は互いに逆向きに分極され、中央の圧電体層2は上側の圧電体層1と同方向に分極されている。なお、圧電体層1、3の分極方向は、図2のように中央部に向かって内向きでも、外向きでもよい。積層された圧電体層1～3の2側面、特に対向する2辺の中央部には接続電極8、9が形成されている。一方の接続電極8は、内部電極4と裏面電極7とを接続しており、側面に形成された絶縁材料10によって内部電極5とは絶縁されている。他方の接続電極9は、表面電極6と内部電極5とを接続しており、側面に形成された絶縁材料11によって内部電極

4 とは絶縁されている。

なお、接続電極 8 と内部電極 5 とを絶縁し、接続電極 9 と内部電極 4 とを絶縁するため、絶縁材料 10, 11 を設けたが、これに代えて内部電極 5, 4 の縁部に、接続電極 8, 9 と絶縁するための切欠部を設けてもよい。

上記圧電共振子 A の電気的特性は、接続電極 8, 9 間、または表裏電極 6, 7 間から取り出される。

【0015】

上記構成の圧電共振子 A において、一方の接続電極 8 にプラスの電位を与え、他方の接続電極 9 にマイナスの電位を与えると、図 2 に破線矢印で示すように、外側の圧電体層 1, 3 には同一方向の電界が発生し、中央の圧電体層 2 は逆方向の電界が発生する。そのため、上側の圧電体層 1 では分極方向と電界方向とが逆方向となり、中央の圧電体層 2 および下側の圧電体層 3 では分極方向と電界方向とが同方向となる。分極方向と電界方向とが逆方向の圧電体層 1 は平面方向に拡がり、分極方向と電界方向とが同方向の圧電体層 2, 3 は収縮するので、圧電共振子 A 全体として上を凸として屈曲する。電界方向を逆にすると、圧電共振子 A は逆方向に屈曲する。したがって、接続電極 8, 9 間に高周波電界を印加すれば、圧電共振子 A は所定の周波数で面積屈曲振動を起こす。

【0016】

図 3 は上記圧電共振子 A の製造工程を示す。

図 3 の (a) はマザー基板状態を示し、圧電体層 1 ~ 3 のマザー基板 1 M, 2 M, 3 M を内部電極 4 M, 5 M を間にして積層し、その表裏面に電極 6 M, 7 M を形成する。そして、一端面に内部電極 5 M のみと導通する分極用電極 1 2 を形成する。

次に、(b) のように表裏の電極 6 M, 7 M と分極用電極 1 2 との間に高電圧を印加し、3 層の圧電体層 1 ~ 3 を矢印方向に分極する。

その後、(c) のように積層マザー基板をカットライン C L で縦横に小さくカットした後、その側面に接続電極 8, 9 を形成することにより、図 1 に示す圧電共振子 A が得られる。

【0017】

上記構成の圧電共振子Aにおいて、全体の厚みを一定（0.18mm）とし、 $t_1 = t_3$ 、 $t_1 / t_2 = 0.25 \sim 10$ の条件で、種々の圧電共振子Aを作成し、その電気的特性の測定を行った結果を図4～6に示す。

図4は t_1 / t_2 を可変した時の端子間容量CFの変化を示す。

図5は t_1 / t_2 を可変した時の $\Delta f (= f_a - f_r)$ の変化を示す。

図6は t_1 / t_2 を可変した時の素子の寸法（一辺）の変化を示す。但し、共振周波数 $f_r = 400 \text{ kHz}$ とした。

【0018】

図4から明らかなように、 $t_1 / t_2 = 1$ のとき、端子間容量CFが最も小さく、 $t_1 / t_2 < 1$ および $t_1 / t_2 > 1$ のとき、端子間容量CFが大きくなった。特に、 t_1 / t_2 を1より大きくすれば、それだけ端子間容量CFも増大し、 $t_1 / t_2 = 10$ とすると、 $t_1 / t_2 = 1$ のときに比べて端子間容量CFを約3倍に増大させることができた。

このように t_1 / t_2 を可変することで、端子間容量CFを自在に可変することができる。

【0019】

図5から明らかなように、 $1 < t_1 / t_2 < 3$ の範囲で Δf が30kHzを越え、 Δf の大きな圧電共振子を得ることができる。

図6により、 t_1 / t_2 の値が小さいほど、素子寸法を小さくできることがわかる。特に、 $t_1 / t_2 < 1$ とすると、素子の寸法を1.34mm以下にでき、素子寸法の小型化と容量CFの増加とを両立させることができる。

なお、両側の圧電体層1, 3の厚み t_1 , t_3 を同じとしたが、必ずしも同じにする必要はない。ただし、振動の対称性の面から、 $t_1 = t_3$ とするのが望ましい。

【0020】

図7は本発明にかかる面積屈曲振動を利用した圧電共振子の第2実施例を示す。この圧電共振子Bは、中央の圧電体層2が分極されていない点を除き、圧電共振子Aと同様である。したがって、圧電共振子Aと同一部分には同一符号を付して重複説明を省略する。

【 0 0 2 1 】

この圧電共振子Bの製造に際しては、図8の(a)に示すように、積層されたマザー基板状態の圧電体層1M、2M、3Mの一端面に内部電極4M、5Mと導通する分極用電極13を形成する。そして、(b)のように表裏の電極6M、7Mと分極用電極13との間に高電圧を印加することで、両側の2層の圧電体層1、3のみを矢印方向に分極する。

その後、(c)のように積層マザー基板をカットラインCLで縦横に小さくカットし、その側面に接続電極8、9を形成することにより、図7に示す中央層2が分極されない圧電共振子Bが得られる。

【 0 0 2 2 】

図9～図11は、図4～図5と同じく、全体の厚みを一定(0.18mm)とし、 $t_1 = t_3$ 、 $t_1 / t_2 = 0.25 \sim 10$ の条件で、種々の圧電共振子Bを作成し、その電気的特性の測定を行った結果を示す。

図9は t_1 / t_2 を可変した時の端子間容量CFの変化、図10は t_1 / t_2 を可変した時の $\Delta f (= f_a - f_r)$ の変化、図11は共振周波数 $f_r = 400 \text{ kHz}$ とし、 t_1 / t_2 を可変した時の素子の寸法(一辺)の変化である。

なお、図9～図11には、比較のために中央層2を分極した圧電共振子Aの変化も併記した。

【 0 0 2 3 】

図9に示すように、 t_1 / t_2 を可変した時の端子間容量CFは、中央層2に圧電特性を持たせた圧電共振子Aと同様な変化を示す。つまり、中央層2の分極の有無が端子間容量CFに与える影響は少ない。

Δf については、図10に示すように、 $t_1 / t_2 < 3$ の範囲では、中央層2に圧電特性を持たせた方が大きな Δf が得られ、 $t_1 / t_2 > 3$ の範囲では、中央層2に圧電特性を持たせない方が大きな Δf が得られる。

素子寸法については、図11に示すように、 $t_1 / t_2 = 2$ 付近で最大寸法(約1.33mm)となり、 $t_1 / t_2 < 2$ および $t_1 / t_2 > 2$ では素子寸法が小さくなることがわかる。そして、中央層2に圧電特性を持たせた圧電共振子Aに比べて、中央層2に圧電特性を持たせない圧電共振子Bの方が小型化できること

がわかる。

【0024】

本発明にかかる圧電共振子は、上記実施例のような3層の圧電体層を有するものに限らず、4層以上の偶数層の電極層と3層以上の奇数層の圧電体層とを交互に積層した面積屈曲振動を利用した圧電共振子であればよい。

【0025】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、本発明によれば、4層以上の偶数層の電極層と3層以上の奇数層の圧電体層とを交互に積層し、圧電体層のうち少なくとも2層を厚み方向に分極させた構造を持つ面積屈曲振動を利用した圧電共振子において、少なくとも1層の圧電体層の厚みを他の圧電体層の厚みと異ならせたので、素子の全体厚みや、積層数、材料特性などを変えずに、容量値を自在に変化させることができる。

また、圧電体層の厚みによって容量値を連続的に変化させることができるので、目標とする容量値に容易に近づけることができる。したがって、圧電共振子を回路基板などに実装する際、外部回路とのインピーダンス整合を簡単に取ることができる。

また、圧電体層の厚みを変えることにより、容量値だけでなく、 Δf の調整が可能であり、圧電共振子の帯域幅を調整することができる。さらに、同一の共振周波数、積層数、全体の厚みが同一でも、各圧電体層の厚みを変えることにより、素子寸法を変化させることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明にかかる圧電共振子の第1実施例の斜視図である。

【図2】

図1に示す圧電共振子の断面図である。

【図3】

図1に示す圧電共振子の製造工程図である。

【図4】

図 1 に示す圧電共振子において、両側の圧電体層と中央の圧電体層との厚みの比と、容量値との関係を示す図である。

【図 5】

図 1 に示す圧電共振子において、両側の圧電体層と中央の圧電体層との厚みの比と、 Δf との関係を示す図である。

【図 6】

図 1 に示す圧電共振子において、両側の圧電体層と中央の圧電体層との厚みの比と、素子寸法との関係を示す図である。

【図 7】

本発明にかかる圧電共振子の第 2 実施例の断面図である。

【図 8】

図 7 に示す圧電共振子の製造工程図である。

【図 9】

図 7 に示す圧電共振子において、両側の圧電体層と中央の圧電体層との厚みの比と、容量値との関係を示す図である。

【図 10】

図 7 に示す圧電共振子において、両側の圧電体層と中央の圧電体層との厚みの比と、 Δf との関係を示す図である。

【図 11】

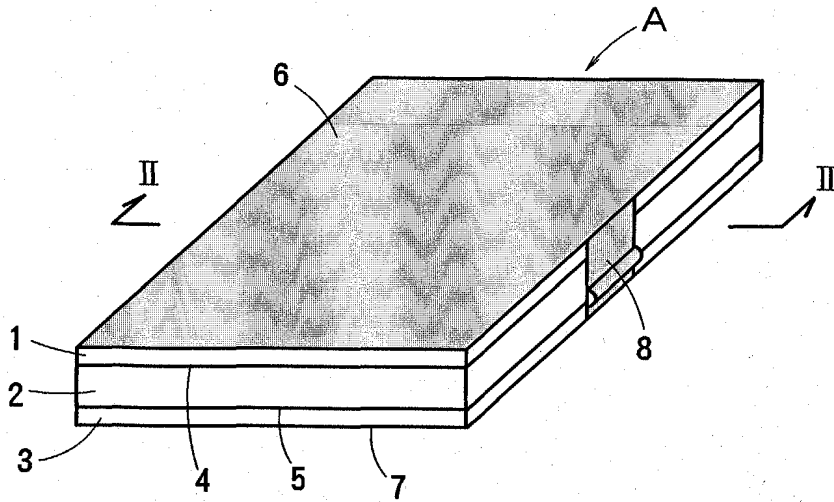
図 7 に示す圧電共振子において、両側の圧電体層と中央の圧電体層との厚みの比と、素子寸法との関係を示す図である。

・【符号の説明】

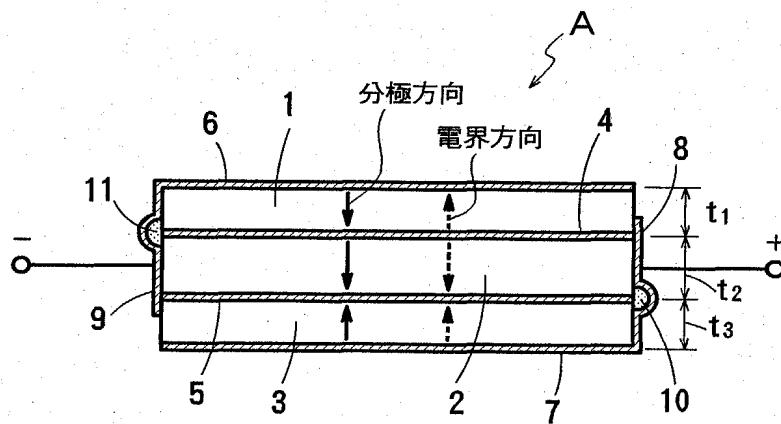
A, B	圧電共振子
1 ~ 3	圧電体層
4, 5	内部電極
6	表面電極
7	裏面電極
8, 9	接続電極

【書類名】 図面

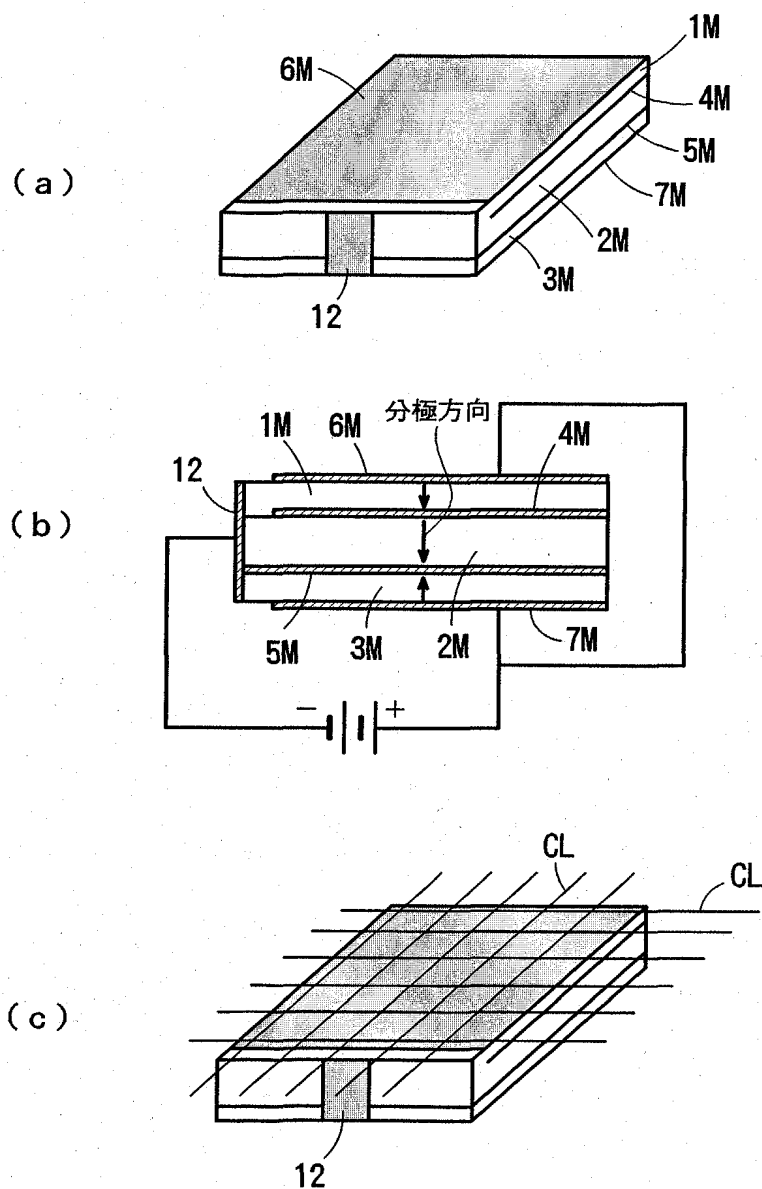
【図 1】



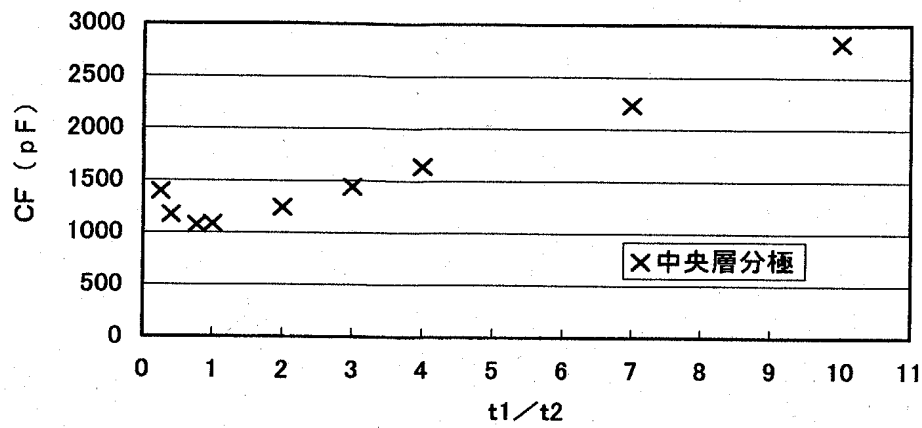
【図 2】



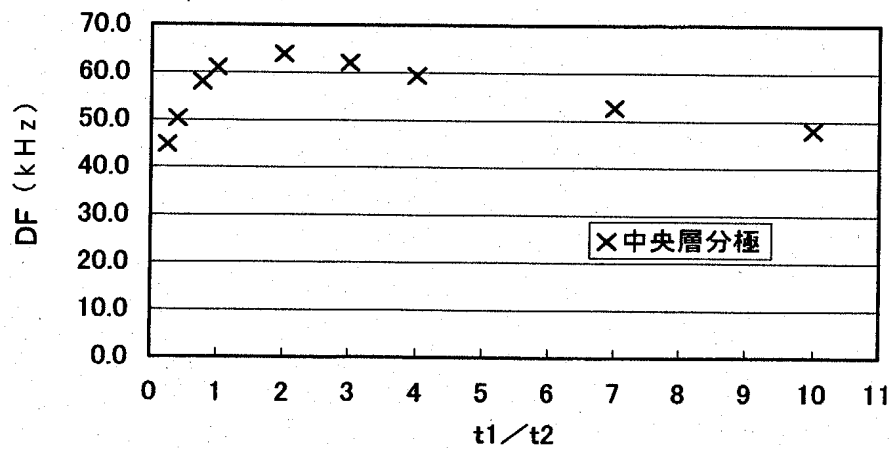
【図 3】



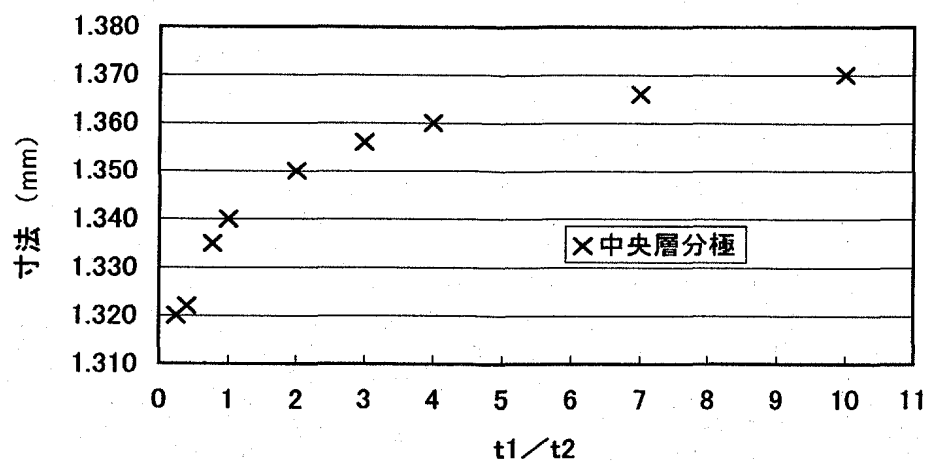
【図 4】



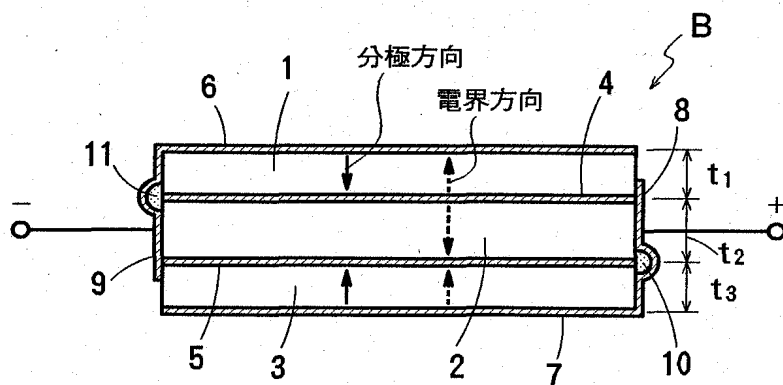
【図 5】



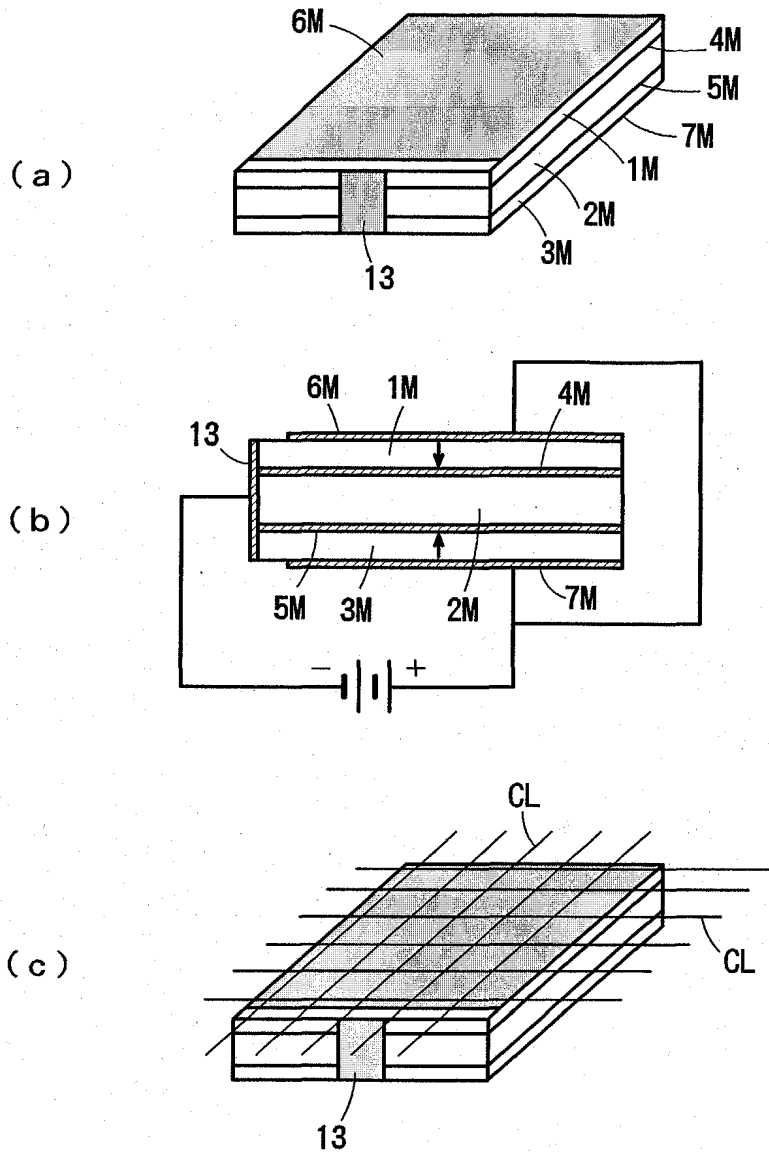
【図 6】



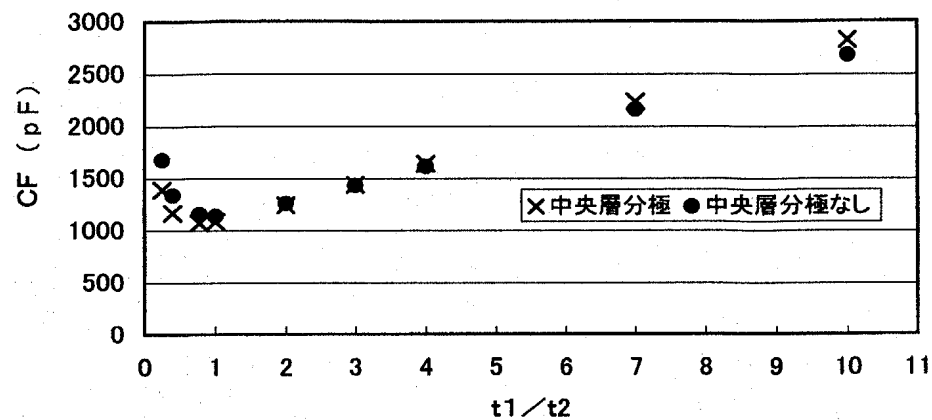
【図 7】



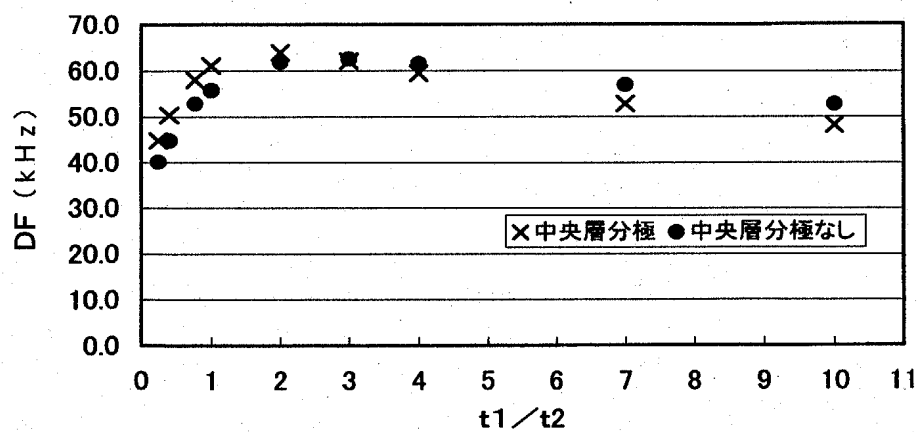
【図 8】



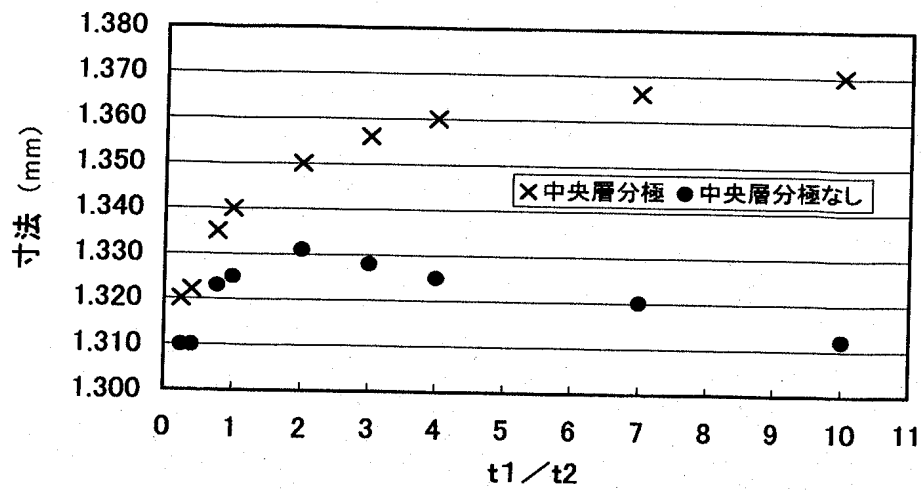
【図 9】



【図 10】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 圧電体層の積層数や素子全体の厚みを変えず、容量値を細かく制御できる小型の圧電共振子を提供する。

【解決手段】 面積屈曲振動を利用した圧電共振子であって、4層以上の偶数層の電極層4～7と3層以上の奇数層の圧電体層1～3とを交互に積層し、圧電体層1～3のうち少なくとも2層を厚み方向に分極させた構造を持ち、少なくとも1層の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と同方向に電界が発生し、他の少なくとも1層の圧電体層においては、この圧電体層の分極方向と逆方向に電界が発生するように、上記電極層4～7を相互に接続してなる。少なくとも1層の圧電体層の厚み t_2 が他の圧電体層の厚み t_1 、 t_3 と異なる。

【選択図】 図2

特 2000-394249

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-394249
受付番号	50001676805
書類名	特許願
担当官	第七担当上席 0096
作成日	平成12年12月27日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年12月26日
-------	-------------

次頁無

特2000-394249

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000006231]

1. 変更年月日

1990年 8月28日

[変更理由]

新規登録

住 所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

氏 名

株式会社村田製作所